



“智造时代”下培育核心素养的工程训练研究

昂 阳, 高 翔*

(南京邮电大学 工程训练中心, 南京 210023)

摘要: 为匹配智能制造时代对新工科工程训练课程提出的新需求, 以培育工程人才的核心素养为主线, 目标导向逆向设计三层递进的课程体系; 以全生命周期持续改进思想重构教学过程, 引导学生转换角色深度学习; 配合多元化全过程的评价体系, 达到培养综合型工程人才的目标, 为新时代下的工程训练课程提供新思路和新路径。

关键词: 核心素养; 目标导向设计; 全生命周期; 全过程评价体系

中图分类号: G642.0; TB-4 文献标志码: A DOI: 10.12179/1672-4550.20230538

Research of Engineering Training for Cultivating Core Competencies in the Era of Intelligent Manufacturing

ANG Yang, GAO Xiang*

(Engineering Training Center, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: To meet the new demands of the era of intelligent manufacturing for new engineering training courses, and with the core competencies of engineering talents as the main goal, a three-tier progressive curriculum system is designed based on goal orientation. Emphasizing continuous improvement throughout the entire lifecycle, the teaching process is reconceptualized. Students are guided to transit into active roles, leading the curriculum. This approach is complemented by a diversified evaluation system, with the ultimate goal of cultivating versatile engineering professionals, which provides a perspective and approach for engineering training courses in the new era.

Key words: core competencies; goal-oriented design; entire lifecycle; diversified evaluation

在《中国制造 2025》的时代背景下, 国家正在迈向“智造时代”。智能制造颠覆性变革对新工科人才培养目标提出新需求, 要培养更多具备综合思维、学科交叉和面向未来能力的工程人才^[1-3]。工程训练中心在高校中扮演着重要角色, 是培养工程人才核心素养和创新意识的重要阵地。新需求下, 工程训练中心亟须拥抱时代, 深化内涵建设, 焕发新的活力。经过多年发展, 工程训练中心大多已逐步增加新技术、新工艺、虚拟仿真、创新创业等模块, 但课程体系的局限性依然存在以下问题^[4-8]。

1) 多元需求忽视, 培养形式单一

当前工程训练课程多依赖传统教学模式, 无法满足对不同专业相关工程问题的深入思考和探索, 缺少对学生综合能力的培养, 以及系统性、多层次、跨学科的综合实践训练。

2) 生均设备不足, 参与深度不够

作为传统金工实习演变而来的课程, 涉及的大型工业设备数量无法匹配日益增长的学生数量, 在实践教学中出现人等机、人等人的情况, 课程内容趋向简单化和同质化, 学生参与度和积极性不理想。

3) 考核方式单一, 多元反馈缺乏

传统考核方式主要以提交作品和实习报告为

收稿日期: 2023-11-17; 修回日期: 2024-03-21

基金项目: 教育部产学合作协同育人项目(202101297042); 江苏省高校实验室研究会重点项目(GS2019ZD09); 南京邮电大学实验室工作研究课题(2023XSG14)。

作者简介: 昂阳(1991-), 男, 硕士, 助理实验师, 从事机器人智能控制方面的研究。

*通信作者: 高翔(1967-), 女, 博士, 教授, 主要从事机器人信息感知与控制方面的研究。E-mail: gaoxnj@126.com

依据, 忽略了对实际学习过程和综合素养的全面了解。无法反映学生在工程实践过程中的实际表现和问题解决能力, 也难以评估其合作与创新能力。

南京邮电大学工程训练中心面对产业变革和“智造时代”的浪潮, 以培育工程人才核心素养为目标, 成果导向教育理念(outcomes-based education, OBE)和工程教育模式(conceive-design-implement-operate, CDIO)理论双驱动, 目标导向逆向构建课程体系, 全生命周期参与促进学生深度学习, 搭建多元化全过程评价体系, 为新时代工程人才核心素养的培养提供了创新思路和探索经验。

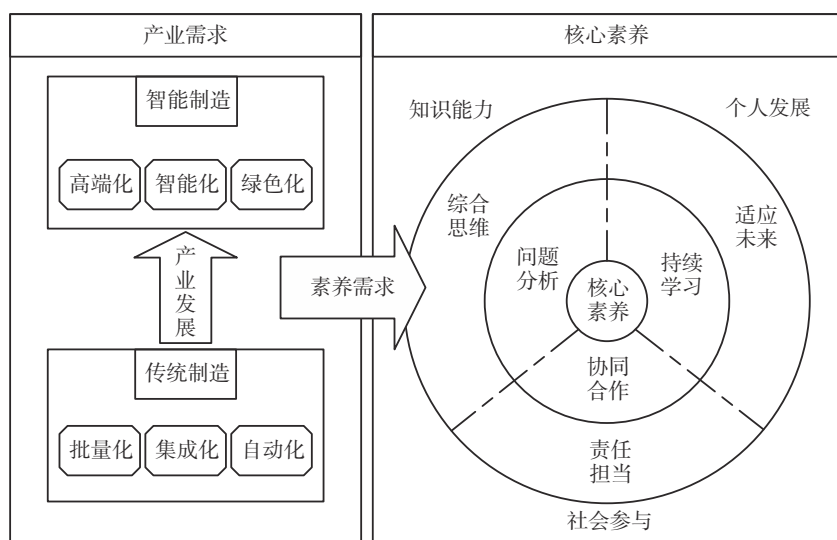


图1 “智造时代”核心素养培养新需求

1.2 核心素养培育理论架构

为适应“智造时代”产业高速发展对工程人才培养的综合性需求, 为解决当前工程训练课程中的局限性, 工程训练课程需考虑如何将基本知识点的传授转换为工程人才核心素养的培养。实现对核心素养的理解和迁移, 要解决3大核心问题: “需要具备什么能力?” “学生如何充分参与?” “如何评估学习效果?”^[9-10]。从问题出发, 工程训练中心以工程人才核心素养的培育为目标逆向构建课程体系, 以全生命周期参与激发学生深度学习热情, 以多元化、全过程的评价反馈体系进行质量保障^[11-17], 建立起“一个核心、双重驱动、全程保障”的核心素养培育理论架构, 如图2所示。

1 “智造时代”核心素养培育

1.1 “智造时代”人才核心素养需求

智能制造时代背景下, 国家大力发展新质生产力, 产业亟须通过新技术迭代升级, 进一步实现高端化、智能化、绿色化。这对新工科人才培养提出了新要求, 需帮助工程人才养成在内生动力的驱动下不断学习成长、适应前沿技术发展、勇于承担社会责任的核心素养。从知识能力、社会参与、个人发展3个维度分别体现为3个相结合, 即“问题分析和综合思维相结合”“协同合作和责任担当相结合”“持续学习与适应未来相结合”, 如图1所示。

2 目标导向逆向构建课程

2.1 核心素养反推教学目标

以OBE理念为指导, 通过核心素养培养需求反推教学目标。工程训练中心对标“智造时代”工程人才培养的新素养需求, 全面总结和梳理工程训练课程支撑各学院的培养目标, 结合不同专业对新时代下学生工程能力培养的要求和一级指标点, 凝炼归纳出破题思维、批判反思、学科融合、探索挑战、角色认知、沟通协调、国家认同、全局意识、技术应用、终身学习、绿色发展和创新精神这12个具体的工程人才核心素养培育教学目标, 如表1所示。

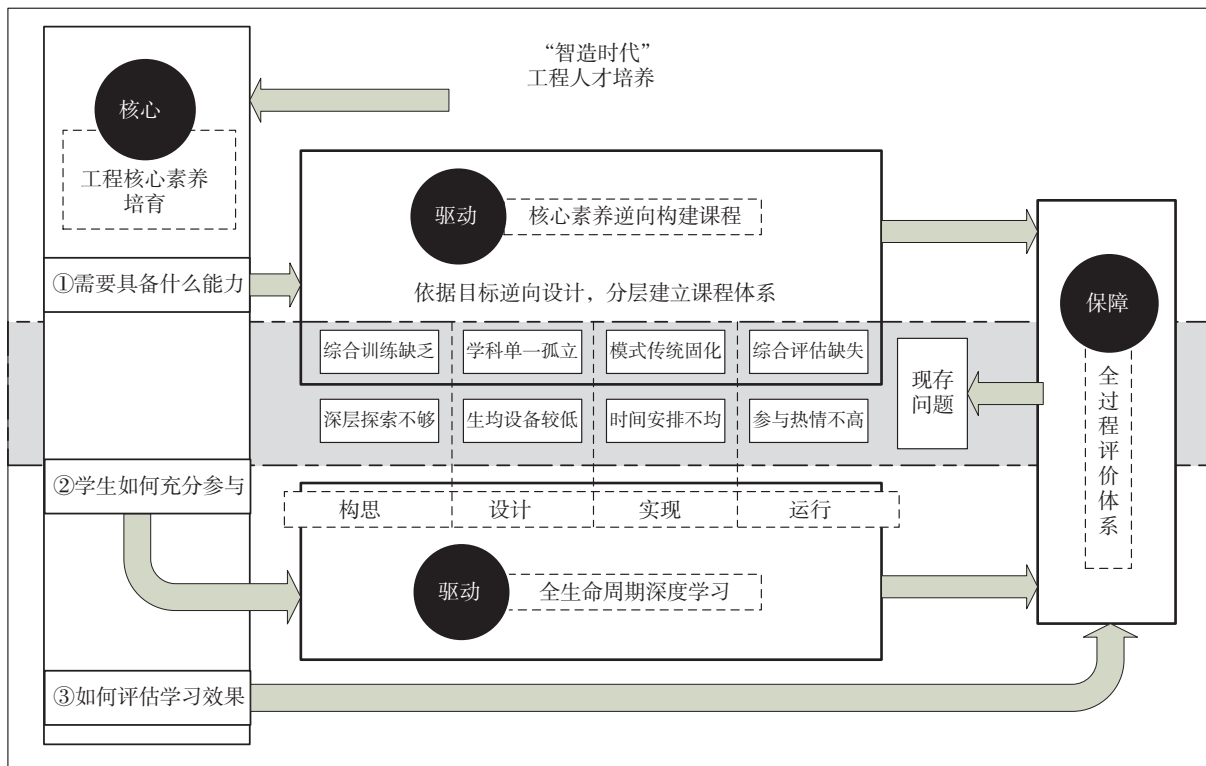


图 2 3 层核心素养培育理论架构图

表 1 工程人才核心素养培育教学目标

核心素养	教学目标	指标点描述
知识能力	问题分析	破题思维 能够运用本专业领域的相关知识，对工程问题进行合理的分析
	综合思维	批判反思 能够多角度思考问题，敢于对工程问题提出质疑和反思 学科融合 能够有机结合多学科知识考虑问题，找到综合性解决方案 探索挑战 面对未知的问题有足够的好奇心进行探索，并永不言弃
社会参与	协同合作	角色认知 认知自身在多学科背景团队中的定位，清晰了解自身能力 沟通协调 具备有效沟通技能，能够与不同领域的专业人员合作，保证团队项目顺利进行
	责任担当	国家认同 拥有爱国情怀和文化自信，能够弘扬中华优秀传统文化和社会主义先进文化 全局意识 能够全局考虑健康、安全、法律及文化等因素，评估工程实践对社会影响
个人发展	持续学习	技术应用 掌握自主学习新技术、新知识的能力，能够通过自学的技能解决工程问题
	终身学习	拥有终身学习的意识，认识到学习是持续不断积累的过程
	适应未来	绿色发展 拥有可持续发展的理念，能够在工程实践中践行能源节约和环境保护 创新精神 能够运用所学知识提出新观点和新思路，敢于不断进行改革创新

2.2 分层次多模块课程体系

依据产业需求反推出的工程人才核心素养培育教学目标，明确了在工程训练课程中需帮助学生达到的学习效果。其中，需学生掌握的能力素质从易到难，从单一到综合呈阶梯状分布；需针对教学目标的特点对已有的课程内容、模块和技术平台进行重新整合，如数控加工、特种加工、快速成型、智能制造和虚拟仿真资源等；积极开发支撑单一或多维目标的教学案例，融课程

思政和能力培养于项目实践中。教学案例结合各类课程以及综合性训练，面向不同能力基础、不同专业背景和不同年级层次的学生开放。整个课程体系遵循 3 层递进的设计，以一个大的三级项目群、数个二级项目组和若干一级项目组成，项目设计从易到难，从单一到复杂逐渐递进，如图 3 所示。

1) 文化浸润，匠心觉醒

面向低年级的学生，主要通过认知类制造项

目展开课程, 引导学生清晰自身角色定位, 萌芽对工程的认知, 点亮心中家国情怀, 如图4~图6所示。通过“国之重器”核心部件等比例缩放复刻, 领略大国工匠的卓越成就, 激发学生对于工程知识学习的热情; 以“校园文创、文物再现”系列产品的创作, 感受制造技术和中华文化的碰撞, 加深对中华优秀传统文化和社会主义先进文

化的理解和感悟; 通过逆向建模、夹具设计、机械设计创意制作系列项目, 体会机械设计之美, 觉醒心中的工匠之魂。另外, 对原有金工实习项目进行拓展, 如羊角锤、逃生锤、异形锤等制作。课程以基础加工设备的组合完成项目, 形成面向各学院的工程训练与创新A/B/C课程, 同时也面向全校学生开设开放性项目供自由选择。

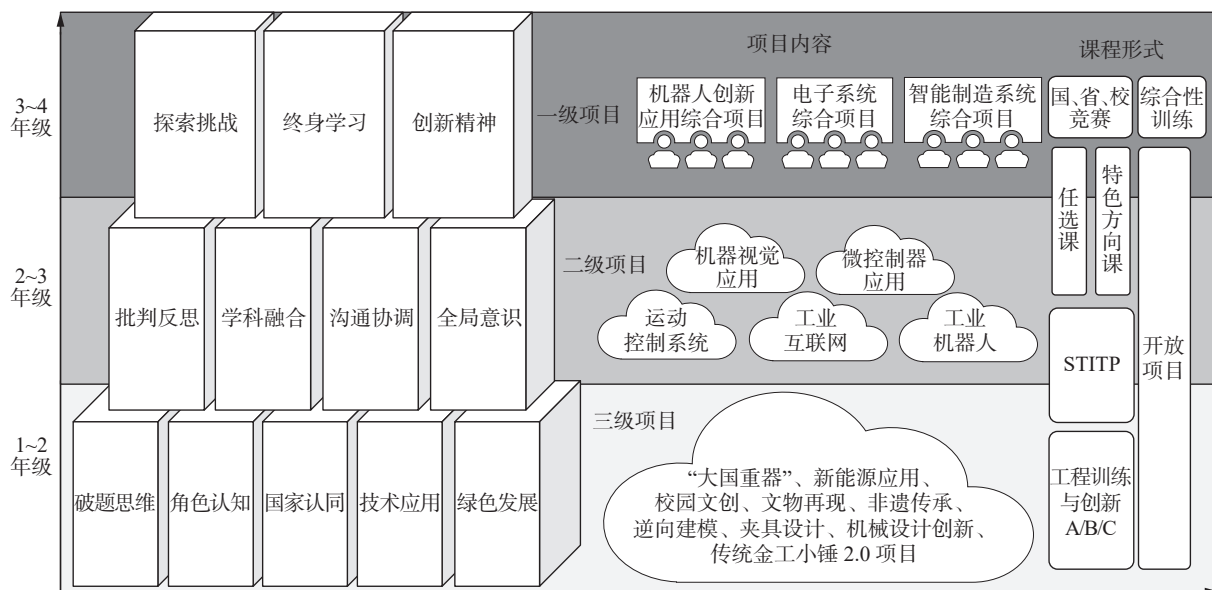


图3 分层次多模块的课程体系



图4 古代文物系列——青铜马

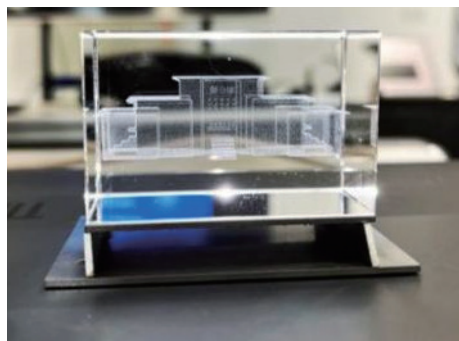


图6 校园主题文创——图书馆

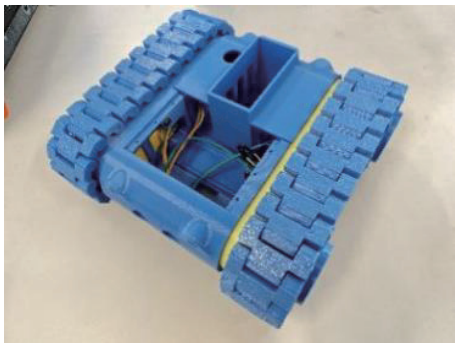


图5 机械传动系列——履带车

2) 机电融合, 学科交叉

面向2~3年级的学生, 该阶段的学生已完成初步的专业课学习, 对自身的定位有一定的了解, 可以进行一些学科交叉融合的探索或简单的项目管理训练, 如图7~图9所示。工程训练中心结合学校特色与各学院展开深度合作, 与各专业有机融合, 开发了一批多学科交叉的训练项目, 如工业机器人应用、运动控制系统开发、微控制器创新应用、机器视觉技术应用和工业互联网等。以任选课、特色方向课、大学生科技创新训

练计划 (science and technology innovation training program, STITP)等形式向各专业学生开放, 并组成不同学院、不同年级学生参与的项目小组。同时配备指导老师, 帮助学生进行学科交叉探索, 在融合协作之中磨炼其意志和担当。



图 7 三杯式风速仪



图 8 三自由度机械臂



图 9 智能温控电风扇

3) 赛课结合, 产研助力

高年级学生已完成大部分专业课的学习, 即将走向工作和科研的岗位, 终身学习的意识和对复杂问题的探索与挑战是有待完成的教学目标。面向这个阶段的学生, 工程训练中心积极引入产教协同资源和学校科研资源, 结合大学生工程实践与创新能力大赛、“西门子杯”和“北斗杯”

等竞赛题, 提炼一批综合性项目, 如电子系统综合项目、智能制造系统综合项目和机器人创新应用综合项目等, 如图 10~图 12 所示。以实验室开放项目、社团活动、创新竞赛和科研项目等方式发布, 组成稳定的项目组进行一定周期的培训和开发。学生在特定的竞赛或科研的场景下, 需要在项目周期中承担多种角色, 进行技术研发、难点突破和项目管理, 还需对新知识、新技术不断地学习和钻研。

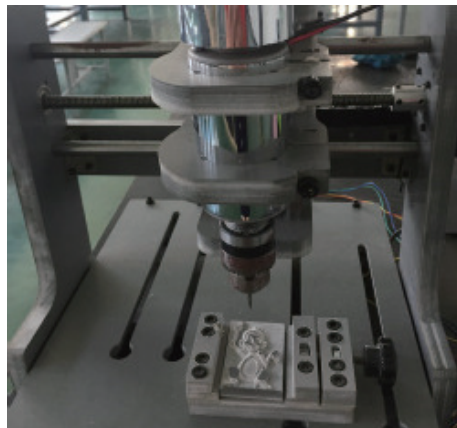


图 10 自制数控雕刻机



图 11 智能避障小车

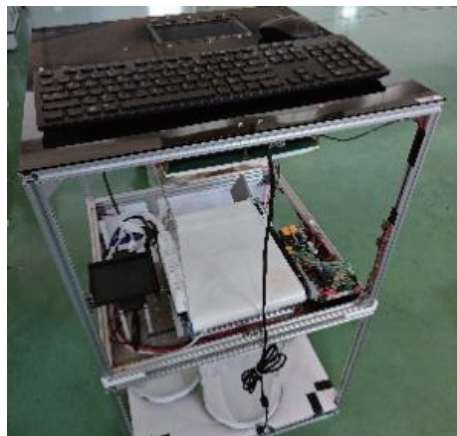


图 12 智能垃圾分类装置

3 全生命周期管理工程训练

在分层次、多模块的课程体系下, 如何针对核心素养进行教学设计和开展课程成了主要问题。尤其是面向低年级学生开展的工程训练基础课程, 由于传统课程现存的设备数量不足、考核方式固化、教学方式传统等问题, 学生参与热情不高, 对于工程问题的分析不够深入。而核心素养的培养, 以强调学生“理解为何而学”“自主规划学习”“期待学习成果”为目标。全生命周期参与项目能够帮助学生反转“老师教、学生听”的模式, 以项目主导的身份全情投入、主动学习和探索。工程训练中心以 CDIO 理念为指导, 结合案例设计中的核心素养特点, 将项目按“构思—设计—实现—运行”拆分为实践中的实际考查要素来指导教学设计, 如表 2 所示。

3.1 全面建设系统化支撑条件

开展由学生主导的项目化教学活动, 需为参加课程的学生建设系统化支撑条件。工程训练中心对标全生命周期训练考察要素, 全面梳理各类工程训练课程的教学材料。为更好地保障项目顺

利进行, 提前总结各类加工设备的原理、制造工艺和使用方法, 搭建包含工程知识、项目管理和制造技术等知识的数据库, 制作成体系的教学视频和案例解析。各类资源通过网络公众号、中心官网和 MOOC 教学平台的形式提前推送给学生, 方便学生及时预习, 在项目探索过程中也能查阅相关技术问题。

表 2 全生命周期考查要素

周期	考查要素		
构思	A: 产品创意	B: 人员分工	C: 项目排期
设计	D: 设计方案	E: 成本规划	F: 制造工艺
实现	G: 设备操作	H: 制造精度	I: 组装调试
运行	M: 内涵提炼	N: 创意推广	O: 路演答辩

3.2 学生主导项目生命周期

已设计好的项目通过任务命题形式提前下发, 学生需以小组形式进行项目探索, 如图 13 所示。任务命题要求学生自行组队, 作为不同项目角色提出建议、完成策划、进行案例研究或设计制造等, 如表 3 所示。通过项目实践锻炼“思考、质疑、研究、决定和呈现”的能力, 培养研究性思维, 激发问题意识与创新能力。

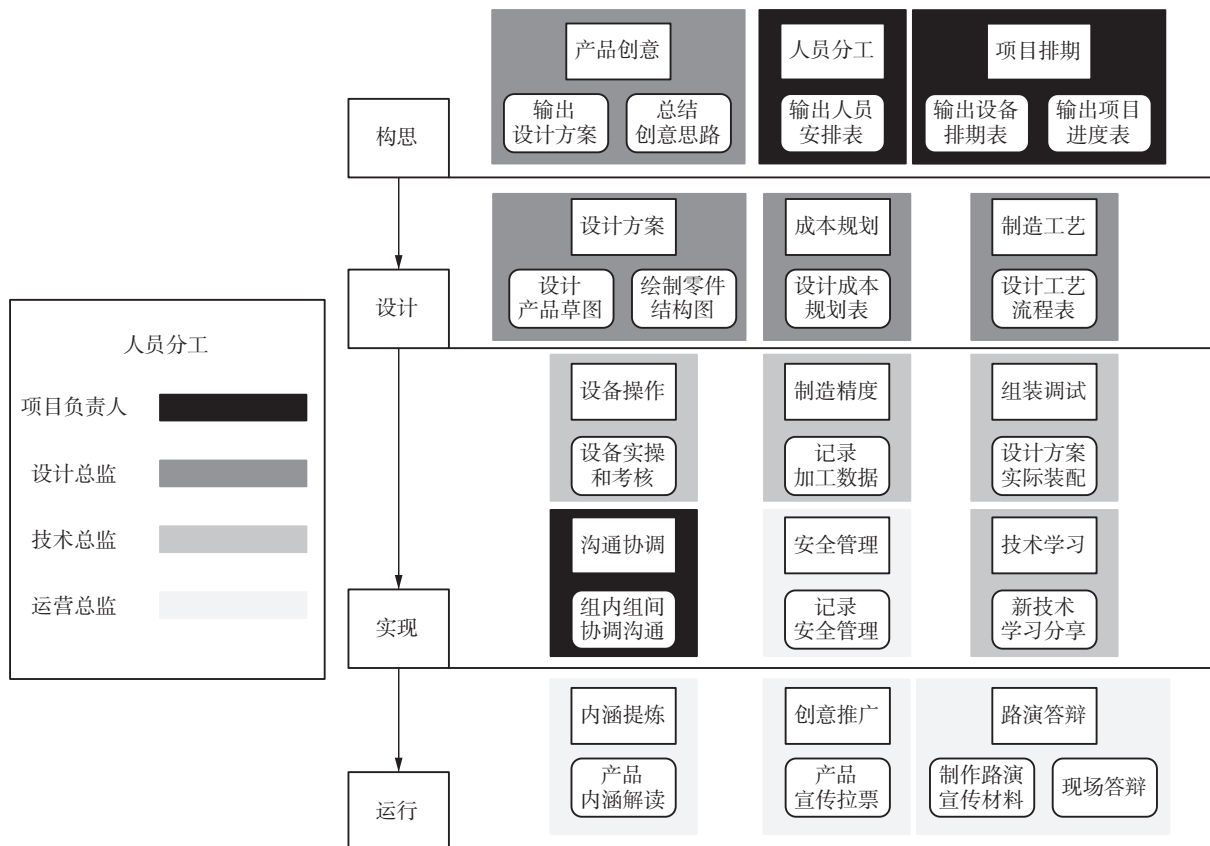


图 13 全生命周期项目运行思路图

表 3 项目人员分工表

项目角色	承担角色	人员/个
项目负责人	负责项目总体规划和统筹	1
	负责项目的人员分工安排	
设计总监 (可兼任)	负责项目进度把控, 参与最终项目评价环节	1
	负责项目的设计方案, 绘制零件结构设计图	
	负责项目总体成本规划及环境影响的评估	
技术总监 (可兼任)	负责项目中的各零件工艺流程设计和装配方案	2
	负责项目零件工艺设计及设备的操作	
	负责项目加工数据记录, 保障零件加工精度	
运营总监 (可兼任)	负责项目中需要掌握的新技术的学习和分享	1
	负责项目中团队内部协调和各团队之间的沟通工作	
	负责项目主题的内涵提炼, 帮助项目整体形象提升	
	负责项目展示和宣传, 负责项目路演PPT制作和宣讲	

3.3 工程文化潜移默化

全生命周期工程训练摒弃传统灌输性质的工程文化传授方式, 在项目考核周期中加入国际化工程管理规范, 如车间管理、仪器设备管理和安全管理等。充分吸收国际化工程理念, 拓展国际化工程视野。学生在项目过程中除了要完成产品制作外, 还需要妥善管理团队、遵守各项制度、完整记录各项数据, 如仪器设备排期、安全管理记录、耗材成本规划和人员协调安排等。在项目路演前, 项目负责人需要上交完整的项目书对本组的工作进行汇报答辩, 通过“真题真做”的形式亲身体会工程文化, 不断锤炼自己的工程素养。

4 多元化全过程的评价体系

在培育核心素养的项目实践中, 考核评估不

仅仅是教师对于学生成绩的界定, 更是学生在项目进行过程中得到的真实反馈, 有助于更准确地自我调节, 达到最佳的学习效果。工程训练中心对标全生命周期训练设计的考核要素, 在项目的各个环节设置考核点, 形成全过程的核心素养评价体系。评价体系考核方式由理论知识、项目报告和现场路演 3 大模块组成。理论考核反映学生个人在介入项目前期对关键技术和安全知识的预习情况; 项目报告作为主要的输出材料, 考查团队项目完成度、技术难度、数据质量以及每个角色在项目中的贡献度; 完成报告后, 团队还需在现场路演中展示产品定位、创新度、用户体验以及汇报人的现场表现能力。3 大模块得分汇总后最终形成综合考评成绩, 如表 4 所示。

表 4 多元化评价内容

评分项	考核要素	考核内容	考核细则	权重/%
理论知识	FGH	工程知识	个人基本工程知识掌握情况	5
	K	安全知识	个人安全知识掌握情况	5
项目报告	CEFHG	技术难度	项目技术难度、实现复杂度和制造技术的挑战	10
	EFHIK	数据质量与合理性	数据记录准确完整、正确阐述项目原理和功能	10
	ADGI	项目完成度	功能完整、符合项目宣传、能在实际场景运行	10
	BJL	角色贡献度	不同角色对项目的贡献度占比	10
现场路演	AMN	产品定位	作品的定位与实用性	10
	ADM	项目创新度	有创新和独特性, 有突破性思路, 带来新价值	20
	JNO	用户体验	产品设计具有用户友好性, 具有较大群众基础	10
	JO	表现力	队伍的现场路演表现力	10

在设定的评分体系下, 教师在关键节点对相应指标进行评分, 结合学生自评、现场投票等形

式获得多角度的反馈, 得出综合评价结果。同时, 在项目运行过程中, 通过将实时考核等级和评价

结果反馈给各项目组长, 帮助项目组进行内容的调整和优化, 实现自我持续改进, 促进目标核心素质的消化和吸收。通过多元化、实时化和全过

程的考核, 学生不仅可以完成项目, 更能不断加深对核心素质的理解, 保证全流程的训练体系取得预期效果, 如图 14 所示。

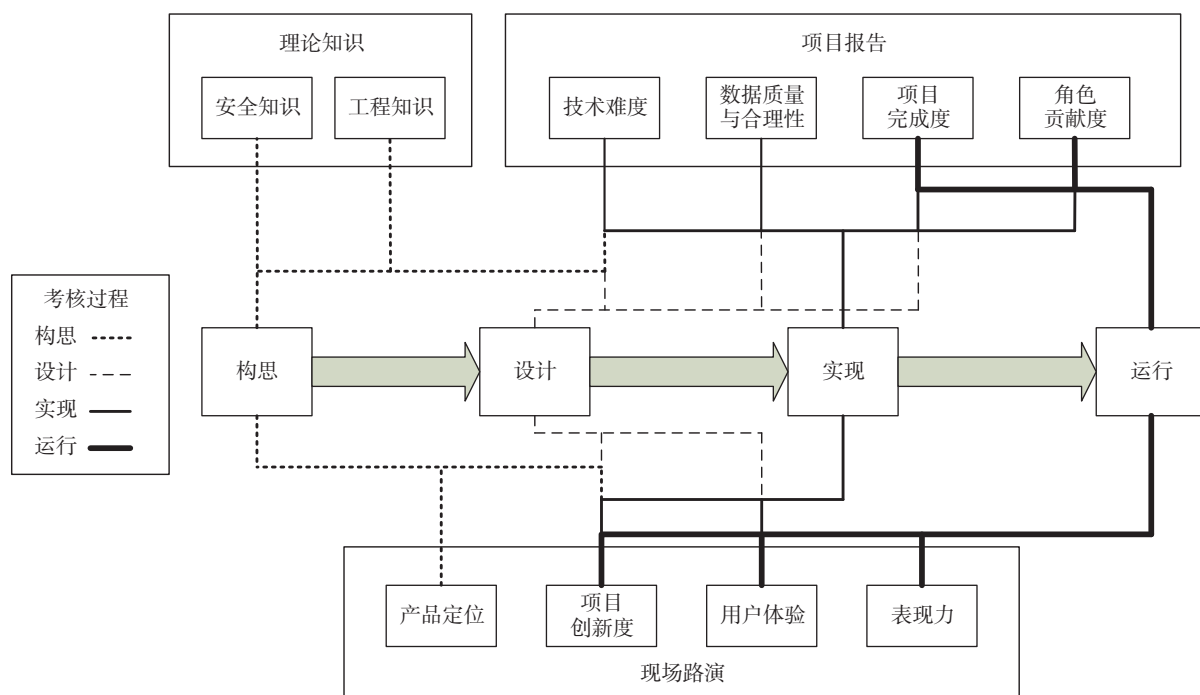


图 14 全过程评价体系

5 核心素养培育效果

5.1 教学评价逐年上升

工程训练与创新课程和工程训练中心开放的任选课程的教学质量评价得分逐年上升, 总分从 2021 年的 95.92 分逐步攀升至 2023 年的 99.18 分。在评价细则中, 涨幅最多的两个项目: 1) “对老师的指导总体满意”一项从 19.66 分增长至 19.94 分, 体现出全生命周期参与的教学方式让师生都在课堂中受益, 解放老师的同时放飞学生的思想, 双方能够展开更多更深入的交流, 促进共同进步; 2) “通过学习, 综合创新能力得到了提升”一项从 19.65 分稳步上升到 19.92 分, 突显核心素养培育逆向设计的关键性作用, 学生能真实的感应到自身综合能力在工程训练教学中的提升和展示。教学评价带来的良好结果也让各级教师对教学过程更加关注, 对教学效果保障的注重逐渐提升, 确保了教学活动开展的稳定性和有效性。

5.2 学科竞赛硕果累累

近三年工程训练中心指导的优秀学生还积极参与省市和国家级的各类创新实践大赛, 取得了

引人注目的成绩。在 2021 年和 2023 年的江苏省大学生工程实践与创新能力大赛中共斩获了 9 项特等奖、8 项一等奖和 5 项二等奖, 并且连续荣获“优秀组织奖”。在 2021 年和 2023 年中国大学生工程实践与创新能力大赛的总决赛中, 获得 2 项金奖、4 项银奖和 4 项铜奖, 位列江苏省属高校第一名。竞赛的成绩展现了学生对创新和实践的热爱, 以及团队协作和不断超越自我的精神。更加激励工程训练中心在培养学生创新和综合能力方面的持续付出。

6 结束语

以核心素养培养为主导, 双重理念驱动的工程训练教学改革, 拓展了新时代下工程能力培养方式, 提升了工程训练课程开展中的师生关系、学习体验, 充分激发了学生的参与热情, 潜移默化地影响了工程综合素质培养的深度和质量。基于核心素养培育的教学改革在提高工程训练课程的教学质量、培养学生综合能力方面起到正向作用, 为新时代下工程训练中心的发展和建设提供了宝贵经验, 为面向“智造时代”的“新工科”

工程训练课程开展提供了新思路。

参考文献

- [1] 许艳丽, 张钦. 智造时代新工科人才培养模式变革的诉求、困境与选择[J]. *黑龙江高教研究*, 2022, 40(9): 47-52.
- [2] 张弛, 张磊. 中国智造视域下高技能人才职业素质模型与“1+X”育训协同体系构建[J]. *教育与职业*, 2019(20): 35-42.
- [3] 许艳丽, 余敏. 新智造时代技术技能人才发展定位与教育应对[J]. *中国电化教育*, 2021(8): 9-15.
- [4] 梁丽华, 邵兰云, 侯振华, 等. “工匠精神+CDIO”视域下电气信息专业实验教学研究与实践[J]. *高教学刊*, 2022, 8(22): 54-58.
- [5] 易国栋, 施芸, 易淑婷. “新工科+新商科”背景下 OBE-CDIO 大数据管理与应用专业人才培养模式探索[J]. *高教学刊*, 2022, 8(35): 173-176.
- [6] 聂学俊. 计算机辅助设计与制造课程改革与实践[J]. *中国现代教育装备*, 2021(21): 105-106.
- [7] 杨慧, 闫兆进, 慈慧, 等. OBE 驱动的工程教育课程教学创新设计[J]. *高等工程教育研究*, 2022(2): 150-154.
- [8] 王亚良, 董晨晨, 屠立群, 等. 一流本科背景下机械工程实验中心建设与实践[J]. *实验技术与管理*, 2021, 38(8): 229-232.
- [9] 李保勤. 学习科学到教学实践变革的有效设计: UbD 新的使命[J]. *教育理论与实践*, 2021, 41(31): 59-64.
- [10] 葛丽婷, 施梦媛, 于国文. 基于 UbD 理论的单元教学设计: 以平面解析几何为例[J]. *数学教育学报*, 2020, 29(5): 25-31.
- [11] 张妮, 李玲玲, 杨琳, 等. CDIO 框架下的教师工作坊研修模式构建与应用[J]. *现代教育技术*, 2022, 32(9): 117-125.
- [12] 李卓. 基于 OBE-CDIO 理念的建构主义模型在设计教学中的创新与应用[J]. *设计艺术研究*, 2021, 11(5): 108-111.
- [13] 张延丽. 小型智能产品设计实训课程融入课程思政探索[J]. *电子元器件与信息技术*, 2021, 5(9): 197-198.
- [14] 谢霞, 马超, 黄秋爽. 基于 CDIO 理念的教学模式改革研究: 以“机械制造工程原理与技术”为例[J]. *高等教育研究学报*, 2022, 45(2): 108-111.
- [15] 唐茜, 刘艳, 任思曼, 等. 基于 CBE 与 CDIO 交互设计教学模式探索[J]. *实验室研究与探索*, 2022, 41(2): 228-232.
- [16] 吴红梅, 郭宇, 张志华, 等. OBE 理念推动化工设备机械基础课程的改革实践[J]. *化学教育(中英文)*, 2021(20): 16-20.
- [17] 王启要, 张蕾蕾, 常雅宁, 等. 新工科背景下以 CDIO 理念为引领的虚拟仿真实验教学探索与实践[J]. *化工高等教育*, 2021, 38(4): 114-119.

编辑 葛晋